

# 无人测量船水下地形测量测绘质量管控

王文礼 王 强

长江三峡技术经济发展有限公司 北京 100038

**摘要：**近年来无人测量船设备发展迅猛，它以高机动性、灵活性、易操作性更是赢得了广大测绘单位的青睐，逐渐取代了原有的水下地形测量模式，但是由于它的高集成性、易操作性在测绘过程中的质量管控措施变得比较困难，本文通过华微3号无人船在向家坝右岸坝后电站下游围堰水下清理项目中水下地形测量实际应用中分析、研究如何进行测绘质量控制及可行性。

**关键词：**无人测量船；水下地形测量；水位改正；姿态改正；测绘质量

## 引言

无人测量船是由船体、单波束或多波束测深系统、实时差分定位系统（Real-Time Kinematic, RTK）、通讯系统、动力系统集成，配合岸上遥控操作系统进行远程遥控的测量设备。较之以往的分体式水上测深设备，具有集成度高、机动灵活、单人可操作、测量过程简单等优势，所以在目前的水下地形测量领域应用发展极快。而恰恰因为它的简单易操作性，使得在现场实际测量过程中，测绘质量控制变得可有可无或者不知道如何去进行质量控制。这就造成测绘成果质量下降：如两种不同型号测量无人船测量结果相差甚远；或是测量成果与实际地形有明显差异；亦或是未按仪器操作规程进行测量造成测量成果偏差较大。所以对于无人船的测绘质量控制措施极为重要。

因此，笔者拟通过分析华微3号无人测量船的结构、功能、性能指标等信息来分析它可能存在的误差，根据误差制定质量控制措施。并通过一个实际的水下地形测量案例来检验质量控制方法是否有效。

## 1 华微3号无人船结构、性能分析

根据华微3号厂家提供的产品说明及仪器鉴定结果对华微3号无人船在两个方面进行分析：第一是硬件部分，主要是船体结构、硬件技术参数；第二是软件部分，主要是操作软件参数设置部分。

### 1.1 硬件部分

#### 1) 硬件分析

**吃水位改正：**华微3号无人船测量船卫星定位天线与测深仪是内置在船体上的，静态吃水位深度为10cm，而动态吃水位是由船体自带的惯性测量单元（Inertial measurement unit, IMU）进行自行改正的，改正参数是否正确是否存在偏差需要通过现场实际验证来把控测绘成果质量。

**定位精度：**华微3号采用RTK定位模式精度最高的，对于RTK定位精度主要由卫星接收机精度、卫星信号质量、差分数据质量来决定定位精度的。卫星接收机方面华微三号为双卫星天线分别布置在船头及船尾，由表1可知定位精度是满足要求的；卫星信号质量是由接收机同时接收卫星数量、观测时受到的电离层、多路径折射、强电磁信号干扰等多种环境因素所决定的；差分数据信号质量是由基准站差分数据解算精度及通讯信号质量来决定的。按照以往的测量方法会在测前、测后对已知点进行核验来确定定位精度误差并进行改正的，而华微3号卫星天线已嵌在船体上无法取下进行验证的，所以需要其他方式确定现场实际的测量精度。

**姿态改正：**华微3号船体为三体船，三体船的特点是稳定性好、耐波性强、适航性强等优点，配合IMU系统进行自修正以及强劲的动力系统在姿态改正方面应该是很好的，而其船身重量只有7Kg实际测量过程中会不会因流速变化大或者船速改变过程中影响改正效果也需要现场实际的验证。

### 1.2 软件部分

华微三号自带一款功能完备自主研发的操控软件包含定位、布线、导航、测深、数据处理等功能。而对于现场测绘质量管控而言最重要的是相关参数设置。在参数设置中以卫星定位参数、航线规划参数、测深参数、验潮参数较为重要。

**卫星定位参数：**卫星定位参数主要是坐标系参数如参考椭球、基准面、水平平差、垂直平差等参数，而出问题较多的就是在参数输入过程中人为输入错误造成的质量问题较多。另外水平平差及垂直平差参数是两个坐标系转换参数，在常规RTK使用过程中应对现场已知点校正后求得最为合理，而华微三号是卫星天线无法取下所以需要其它方法进行校正。

航线规划：华微3号是根据现场实际测量范围进行自动规划后形成航线底图，这里需要根据测图比例尺对应的规范要求的断面间距去验证航线布设是否合理。

测深参数：测深参数中包含通讯、数据格式、吃水位、声速改正等参数。其中吃水位深度默认是10cm，应特别注意这是指静态情况下测深仪吃水深度，在动态情况下还应根据现场实际情况去核对修改；声速改正，研究表明声波在水中正常传播速度是1500m/s，而声波传播速度在水中随温度、盐度、压力的变化而变化，会直接影响测深精度，所以在水下地形测量之前要充分了解测区情况并求得声速改正参数确保测绘质量。

验潮参数：水下地形测量中的测深仪是根据瞬时水面起算的，水面受浪涌现象影响是实时变化的，所以需要水位或潮位进行改正。改正方法主要是根据测区范围内的水文站或验潮站的水位或潮位信息进行改正。华微3号具备现场水深取样功能所以应提前获取验潮参数文件并核对。

## 2 施测部位概况

### 施测部位概况

向家坝右岸坝后电站下游围堰水下清理项目，项目施工范围内布设有二等平面施工测量控制网，三等三角高程测量控制网，网点布设均匀覆盖整个实测区域，大坝下游处有向家坝水文站。水下地形测量深度为5-11m，测量范围约14000m<sup>2</sup>，根据水下摄影探查资料底质以沙石为主无水生植物，坝后围堰内为静水流速小于1m/s，坝后围堰以外流速大于3m/s。施测任务为水下清理开挖项目原始水下地形测量，施工过程中开挖深度范围控制测量，开挖完成后竣工水下地形测量。

### 3 质量控制措施及控制指标

1) 根据以上信息及分析结果制定质量控制流程，质量控制内容应包含航线规划、平面位置精度、吃水位精度、姿态改正、测深参数等。同时华微3号使用电池动力工作时长有限，质量控制流程应结合华微3号本身工作开展顺序进行制定。最终以SL52-2015《水利水电施工测量规范》中1：500水下地形图标准作为判定标准，即图根点平面较差不大于图上0.2mm、高程较差不大于基本等高距1/5，测深线断面间距图上1-3cm、测点间距应为图上1-2cm，测深中误差为±0.2m作为判定指标

2) 质量控制环节主要集中在开机测试阶段、参数设置阶段、数据采集阶段、数据处理后成图阶段。

开机测试阶段：这个阶段主要是华微3号对于硬件、网络连接、遥控信号等进行自检阶段。利用此阶段信号测试阶段对现场RTK信号进行实地测试，同时也应实地踏勘并对比测量方案中是否有不足的地方，并判定是否

需要调整测量方案。本项目测区范围较小大部分区域在静水区域且测区内高等级测量控制点较多，所以拟采用RTK拟合高程进行潮位改正，向家坝水文站数据验潮数据进行参考。RTK基站通讯模式拟采用连续运行参考站（Continuously Operating Reference Stations, CORS）即网络RTK模式，现场实地踏勘测区两侧有导墙阻隔，下游侧还有特高压输电线路，这两种情况造成局部CORS站信号受到干扰，所以选择了电台连接模式进行备用。

参数设置阶段：综合考虑项目情况，投入一套常规RTK设备，现场采集测区内两个高等级测量控制点并求得坐标转换参数，并检核1-2个未参加坐标系统参数转换计算的高等级测量控制点，确认精度后套用常规设备转换参数，在船体上量取定位中心点位置，再用常规RTK设备进行精度检核。卫星定位参数输入完成后，使用华微三号自带软件进行航线规划，并结合水边线测量数据核对航线范围、断面间距、点距等信息是否符合规范要求。测深参数：根据项目情况，现场水质较好、测深较浅不考虑盐度、压力改正，温度按照常温、吃水为深度按照默认10cm进行设置并在后续数据采集阶段前进行校核。在这个过程中应对所有参数进行记录，并对照是否输入正确。

数据采集：数据采集前是一个最为重要的阶段，在该阶段将对吃水位改正、姿态改正阶段进行检核。吃水改正的质量检核采用校对法，具体实施步骤为：现场选取一处底面较平的水域，利用长臂挖机或测深杆测定水深，按三种航速分别测定出静、动吃水改正的正确性。具体数值见表2

表1 静、动态吃水改正水深测量

航速	< 0.5m/s	2m/s	8m/s	测深杆测水深
测点高程	265.412	265.408	265.447	265.423

由表1可知现场实测可知静、动吃水改正后所得高程基本一致，正常工作航速2m/s及低航速与测深杆所测数据较为接近可证明华微3号在当前情况下改正数据是正确的。姿态改正质量检核方法，根据设计文件可知测区范围内有一段斜坡段，让华微三号垂直于斜坡段进行测量如图1所示，在此情况下

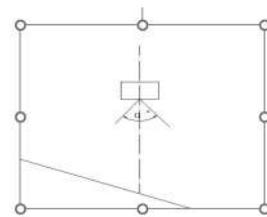


图1 姿态改正测量示意图

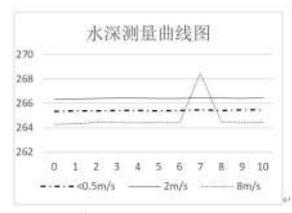


图2 水深测量曲线图

水下地形测量过程中船舶发生横摇、纵摇、艏摇任意一种情况未进行姿态改正,测量结果都会与实际地形不符出现明显折线段,同时也可以根据测量结果计算出姿态改正数据。同样为了模拟实际工况下不同流速对姿态改正结果是否有影响,在现场实际检测过程中采用不同航速进行往返测来进行数据对比。对比结果如图2所示现场实际水深测量数据表明在航速为 $< 0.5\text{m/s}$ 低航速及 $2\text{m/s}$ 工作航速测量过程中线性平顺与实际地形相符可证明华微3号的姿态改正参数是正确有效的,而在 $8\text{m/s}$ 高航速测量过程中整体线性平顺,但中间有一个波形偏差较大的噪点。噪点形成的原因较多在以往的水下地形测量过程中较为常见的,其形成主要原因有姿态改正数据错误、测量区域有水草造成的声波反射错误、水下有鱼群造成的声波反射错误、RTK数据流失造成的假点等,根据现场数据分析噪点较少时可以进行纠正,当噪点较多的时候会造成地形数据失真是水下地形测量过程中需要重点监控的一个指标。

数据采集中:在完成数据采集前各项指标质量检核后,各项指标结果确定无误后进行正式水下地形测量环节即数据采集中环节,数据采集中应主要关注RTK信号质量及水深测量数据质量。RTK测量过程中较为常见的是卫星信号丢失、差分信号丢失或受到干扰等情况,经过对RTK技术的较长时间应用和科研研发针对以上情况RTK设备本身就具备自我监控手段并通过三维数据质量、卫星信号质量、差分网络信号质量进行实时显示,当出现错误信号时

采取暂停测量或重启等手段可有效解决。水深测量质量前文已述重点关注噪点出现频率如果出现频率较高需要根据现场实际分析原因并划定范围,采取降低航速、换个时段重测、更改测量手段等处理措施。

质量控制措施的最后一个环节为成图后质量检查,这个环节应首先检查水深测量数据是否完成,数据质量是否满足要求,成图后成图质量能否满足国家规范要求,并对比已有文件检查有无较大偏差。重点环节应是外业抽查,这个环节应特别注意测量过程要与原测量方式一致以免出现不必要的测量系统误差影响最终判定结果。

#### 4 结论

本次水下地形测量各项质量分别为:通过与第三方测量成果对比图根点平面较差为图上 $0.05\text{mm}$ 、高程较差为基本等高距 $1/10$ ,测点平均间距为图上 $1\text{cm}$ ,外业抽查测深中误差为 $\pm 0.012\text{m}$ 。最终判定本次水下地形测量结果符合质量控制措施有效。

#### 参考文献

- [1]关雷,曹景庆,张东林.无人船测量技术在矿区堰塞湖水下地形监测中的应用[J].测绘与空间地理信息,2021,44(增刊):194-197.
- [2]王辉,马文武,汤发树,曹淑敏,王慧.华微3号在水下地形测量中的应用[C].勘测院第四届科技大会论文集,2022.
- [3]吉绪发,结合无人船与网络RTK技术测量露天矿坑土方量[J].测绘通报,2019,7: 151-155.